

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 147-2F

Première édition — First edition

1974

Sixième complément à la Publication 147-2 (1963)

**Valeurs limites et caractéristiques essentielles des dispositifs à semiconducteurs
et principes généraux des méthodes de mesure**

Deuxième partie: Principes généraux des méthodes de mesure

Sixth supplement to Publication 147-2 (1963)

**Essential ratings and characteristics of semiconductor devices
and general principles of measuring methods**

Part 2: General principles of measuring methods



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembé

Genève, Suisse

Révision de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la Commission afin d'assurer qu'il reflète bien l'état actuel de la technique.

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
Publié trimestriellement
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici ou dans la Publication 147-0 de la CEI des termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Symboles graphiques et littéraux

Seuls des symboles graphiques et littéraux spéciaux sont inclus dans la présente publication.

Le recueil complet des symboles graphiques approuvés par la CEI fait l'objet de la Publication 117 de la CEI.

Les symboles littéraux pour les dispositifs à semi-conducteurs et les microcircuits intégrés font l'objet de la Publication 148 de la CEI.

Les symboles littéraux et autres signes approuvés par la CEI font l'objet de la Publication 27 de la CEI.

Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les autres publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
Published quarterly
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein or in IEC Publication 147-0.

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication.

The complete series of graphical symbols approved by the IEC is given in IEC Publication 117.

The letter symbols for semiconductor devices and integrated microcircuits are contained in IEC Publication 148.

Letter symbols and other signs approved by the IEC are contained in IEC Publication 27.

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 147-2F

Première édition — First edition

1974

Sixième complément à la Publication 147-2 (1963)

**Valeurs limites et caractéristiques essentielles des dispositifs à semiconducteurs
et principes généraux des méthodes de mesure**

Deuxième partie: Principes généraux des méthodes de mesure

Sixth supplement to Publication 147-2 (1963)

**Essential ratings and characteristics of semiconductor devices
and general principles of measuring methods**

Part 2: General principles of measuring methods



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembé

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4

CHAPITRE I: DIODES À SEMICONDUCTEURS

SECTION QUATRE — DIODES TUNNEL

Articles

1. Caractéristiques courant-tension	8
1.1 Exigences de stabilité	8
1.2 Méthode pour faire apparaître la caractéristique complète tension-courant	10
1.3 Mesure des valeurs caractéristiques statiques	12
2. Capacité terminale au point de vallée	14
2.1 Introduction	14
2.2 Discussion	14
2.3 Exécution	16
3. Capacité de boîtier	18
4. Inductance série	18
4.1 Introduction	18
4.2 Principe de la méthode	18
4.3 Exécution	20
4.4 Précautions à prendre	24
5. Conductance négative	26
5.1 Introduction	26
5.2 Principe de la méthode	26
5.3 Exécution	28
6. Résistance série	28
6.1 Introduction	28
6.2 Mesure de la résistance série en courant continu	30
6.3 Mesure de la résistance série en hyperfréquences	32
7. Temps de commutation	36
Introduction	36
7.1 But	38
7.2 Schéma	38
7.3 Description et exigences du circuit	38
7.4 Exécution	42
7.5 Précautions à prendre	42
8. Facteur de bruit	44

SECTION CINQ — DIODES À CAPACITÉ VARIABLE

CAS DES DIODES VARACTORS	46
1. Mesures à l'aide d'une ligne de transmission	46
1.1 Théorie	46
1.2 Schéma	50
1.3 Description et exigences du circuit	52
1.4 Exécution	52
ANNEXE A — Méthode par transformation de la représentation de l'impédance	58
ANNEXE B	70

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5

CHAPTER I: SEMICONDUCTOR DIODES

SECTION FOUR — TUNNEL DIODES

Clause	
1. Current-voltage characteristics	9
1.1 Requirements for stability	9
1.2 Method of displaying the complete voltage-current characteristic	11
1.3 Measurement of static characteristic values	13
2. Valley point terminal capacitance	15
2.1 Introduction	15
2.2 Discussion	15
2.3 Measurement procedure	17
3. Case capacitance	19
4. Series inductance	19
4.1 Introduction	19
4.2 Principle of the method	19
4.3 Measurement procedure	21
4.4 Precautions to be observed	25
5. Negative conductance	27
5.1 Introduction	27
5.2 Principle of the method	27
5.3 Measurement procedure	29
6. Series resistance	29
6.1 Introduction	29
6.2 Measurement for the direct current series resistance	31
6.3 Measurement for the series resistance at microwave frequencies	33
7. Switching time	37
Introduction	37
7.1 Purpose	39
7.2 Circuit diagram	39
7.3 Circuit description and requirements	39
7.4 Measurement procedure	43
7.5 Precautions to be observed	43
8. Noise factor	45

SECTION FIVE — VARIABLE CAPACITANCE DIODES

CASE OF VARACTOR DIODES	47
1. Transmission line measurements	47
1.1 Theory	47
1.2 Circuit diagram	50
1.3 Circuit description and requirements	53
1.4 Measurement procedure	53
APPENDIX A — Transformed impedance method	59
APPENDIX B	71

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SIXIÈME COMPLÉMENT À LA PUBLICATION 147-2 (1963)

VALEURS LIMITES ET CARACTÉRISTIQUES ESSENTIELLES DES DISPOSITIFS
À SEMICONDUCTEURS ET PRINCIPES GÉNÉRAUX DES MÉTHODES DE MESURE

Deuxième partie: Principes généraux des méthodes de mesure

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente publication a été établie par le Comité d'Etudes N° 47 de la CEI: Dispositifs à semiconducteurs et circuits intégrés.

Elle constitue le sixième complément à la deuxième partie: Principes généraux des méthodes de mesure, de la Publication 147 de la CEI. La première partie, traitant des valeurs limites et des caractéristiques essentielles, est éditée comme Publication 147-1 de la CEI.

Le présent complément traite des diodes tunnel et des diodes varactors.

La section sur les diodes tunnel résulte des travaux qui ont débuté à Bad Kreuznach (1963) et qui se sont poursuivis à Philadelphie (1964) et à Padoue (1967). Le projet principal (à l'exclusion des articles 6 et 7), document 47(Bureau Central)203, a été soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en septembre 1968.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de ce projet:

Afrique du Sud (République d')	Italie
Australie	Japon
Belgique	Roumanie
Canada	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
France	Tchécoslovaquie
Israël	Turquie

Les articles 6 et 7 sur les diodes tunnel résultent des discussions qui ont eu lieu à Padoue (1967) et à Leningrad (1969); deux projets, document 47(Bureau Central)326 pour l'article 6 et document 47(Bureau Central)327 pour l'article 7, ont été soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois respectivement en juillet et août 1970.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de l'article 6:

Afrique du Sud (République d')	Pays-Bas
Australie	Pologne
Belgique	Royaume-Uni
Canada	Suède
Finlande	Suisse
France	Tchécoslovaquie
Israël	Turquie
Italie	Union des Républiques
Japon	Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SIXTH SUPPLEMENT TO PUBLICATION 147-2 (1963)

ESSENTIAL RATINGS AND CHARACTERISTICS OF SEMICONDUCTOR DEVICES
AND GENERAL PRINCIPLES OF MEASURING METHODS

Part 2: General principles of measuring methods

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendations and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This recommendation has been prepared by IEC Technical Committee No. 47, Semiconductor Devices and Integrated Circuits.

It constitutes the sixth supplement to Part 2, General Principles of Measuring Methods, of IEC Publication 147. Part 1, dealing with essential ratings and characteristics, is issued as IEC Publication 147-1.

This supplement deals with tunnel diodes and varactor diodes.

The section on tunnel diodes results from the work started in Bad Kreuznach (1963) and continued in Philadelphia (1964) and Padua (1967). The main draft (except Clauses 6 and 7), document 47(Central Office)203, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in September 1968.

The following countries voted explicitly in favour of publication of this draft:

Australia	Japan
Belgium	Romania
Canada	South Africa (Republic of)
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Switzerland
France	Turkey
Israel	United Kingdom
Italy	United States of America

Clauses 6 and 7 on tunnel diodes result from discussions in Padua (1967) and in Leningrad (1969); two drafts, document 47(Central Office)326 for Clause 6 and document 47(Central Office)327 for Clause 7, were submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in July and August 1970 respectively.

The following countries voted explicitly in favour of publication of Clause 6:

Australia	Netherlands
Belgium	Poland
Canada	South Africa (Republic of)
Czechoslovakia	Sweden
Finland	Switzerland
France	Turkey
Israel	Union of Soviet
Italy	Socialist Republics
Japan	United Kingdom

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de l'article 7:

Afrique du Sud (République d')	Japon
Australie	Pays-Bas
Belgique	Royaume-Uni
Canada	Suède
Finlande	Suisse
France	Tchécoslovaquie
Indonésie	Turquie
Israël	Union des Républiques
Italie	Socialistes Soviétiques

La section sur les diodes varactors résulte des travaux qui ont débuté à Padoue (1967) et qui se sont poursuivis à Leningrad (1969). Un projet, document 47(Bureau Central)328, a été soumis aux Comités nationaux pour approbation suivant la Règle des Six Mois en août 1970.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication de ce projet:

Afrique du Sud (République d')	Italie
Allemagne	Pays-Bas
Australie	Royaume-Uni
Belgique	Suède
Canada	Suisse
Finlande	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Israël	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

Le Comité national japonais a voté contre la publication de ce projet.

Withdrawal

The following countries voted explicitly in favour of publication of Clause 7:

Australia	Japan
Belgium	Netherlands
Canada	South Africa (Republic of)
Czechoslovakia	Sweden
Finland	Switzerland
France	Turkey
Indonesia	Union of Soviet
Israel	Socialist Republics
Italy	United Kingdom

The section on varactor diodes results from the work started in Padua (1967) and continued in Leningrad (1969). A draft, document 47(Central Office)328, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in August 1970.

The following countries voted explicitly in favour of publication of this draft:

Australia	Italy
Belgium	Netherlands
Canada	South Africa (Republic of)
Czechoslovakia	Sweden
Finland	Switzerland
France	Turkey
Germany	Union of Soviet Socialist Republics
Israel	United Kingdom

The Japanese National Committee voted against publication of this draft.

Withdrawn

SIXIÈME COMPLÉMENT À LA PUBLICATION 147-2 (1963)

VALEURS LIMITES ET CARACTÉRISTIQUES ESSENTIELLES DES DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS ET PRINCIPES GÉNÉRAUX DES MÉTHODES DE MESURE

Deuxième partie: Principes généraux des méthodes de mesure

CHAPITRE 1: DIODES À SEMICONDUCTEURS

SECTION QUATRE — DIODES TUNNEL

1. Caractéristiques courant-tension

1.1. Exigences de stabilité

Afin d'obtenir la caractéristique statique d'une diode tunnel dans sa région de résistance négative, la résistance négative doit être compensée par une résistance positive appropriée pour stabiliser l'ensemble du circuit. S'il n'en est pas ainsi, le dispositif oscillera, empêchant ainsi des mesures précises.



003174

FIG. 1. — Circuit équivalent.

Comme il est indiqué dans la figure 1, le circuit équivalent d'une diode tunnel est représenté par le circuit qui est à droite des bornes b-b'. On a exclu la capacité du boîtier parce qu'elle a un effet négligeable sur la condition de stabilité. À gauche des bornes a-a', on a la résistance extérieure R_p et son inductance parasite L_p qui doivent être connectées en parallèle avec la diode.

Quand les bornes a-a' sont connectées aux bornes b-b', la condition de stabilité de ce circuit est:

$$\frac{L \cdot g'_{\max}}{C'_1} < R < \frac{1}{g'_{\max}} \quad (1)$$

où:

$$R = R_p + r_s$$

$$L = L_p + L_s$$

$g'_{\max}$ = conductance différentielle négative intrinsèque maximale

C'_1 = capacité intrinsèque au point d'inflexion (en pratique, C' peut être employé au lieu de C'_1)

SIXTH SUPPLEMENT TO PUBLICATION 147-2 (1963)

ESSENTIAL RATINGS AND CHARACTERISTICS OF SEMICONDUCTOR DEVICES AND GENERAL PRINCIPLES OF MEASURING METHODS

Part 2: General principles of measuring methods

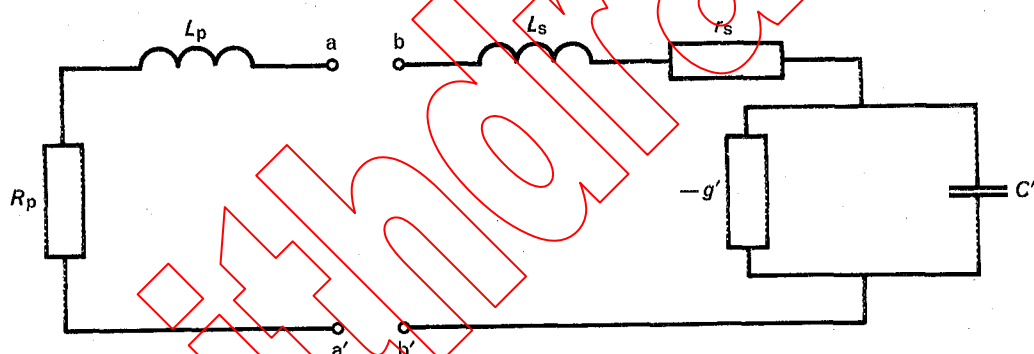
CHAPTER I: SEMICONDUCTOR DIODES

SECTION FOUR — TUNNEL DIODES

1. Current-voltage characteristics

1.1 Requirements for stability

In order to obtain the static characteristic of a tunnel diode in its negative resistance region, the negative resistance shall be compensated by appropriate positive resistance to stabilize the whole circuit. If this is not done, the device will oscillate, thus preventing accurate measurements.



003/74

FIG. 1. — Equivalent circuit.

As shown in Figure 1, the equivalent circuit of a tunnel diode is represented by the circuit to the right of terminals b-b'. Case capacitance is excluded because it has a negligible effect on the stability condition. The left side of terminals a-a' shows external resistance R_p and its stray inductance L_p which are to be connected in parallel with the diode.

When terminals a-a' are connected to b-b', the condition for stability of this circuit is:

$$\frac{L \cdot g'_{\max}}{C_I} < R < \frac{1}{g'_{\max}} \quad (1)$$

where:

$$R = R_p + r_s$$

$$L = L_p + L_s$$

$g'_{\max}$ = intrinsic maximum negative differential conductance

C_I = intrinsic inflection point capacitance (in practice, C' may be used instead of C_I)

Pour satisfaire cette condition, l'inductance parasite L_p associée à R_p doit être très petite. Si cette condition est réalisée, le circuit de mesure comprenant la diode tunnel est stable.

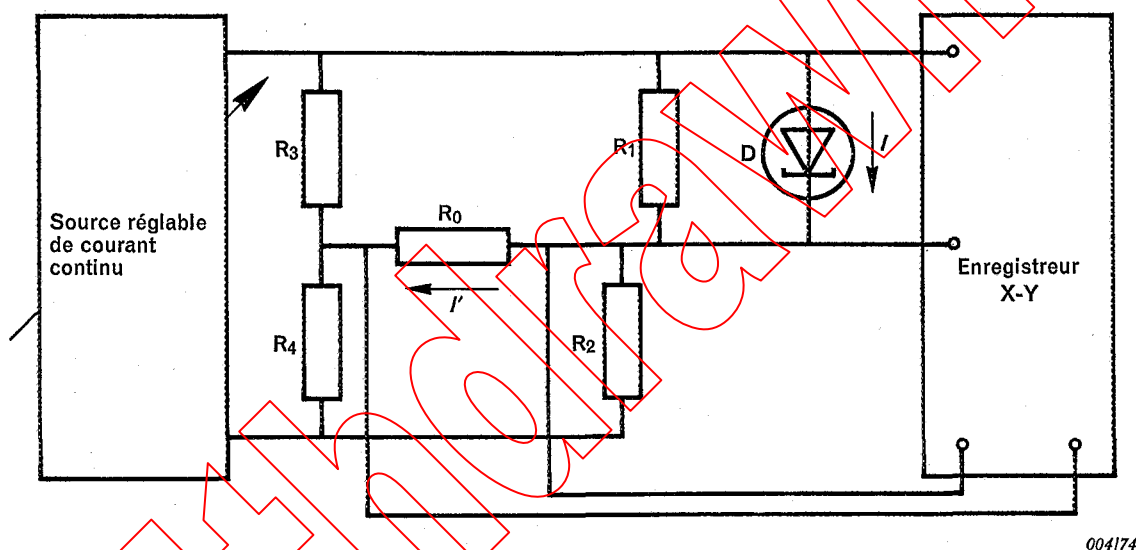
Pour certaines diodes, les conditions de l'équation (1) ne peuvent pas être réalisées et cette méthode d'essai n'est pas appropriée. Dans ce cas, les mesures des points de la courbe devront être effectuées comme il est indiqué au paragraphe 1.3 ci-après.

Comme résistance faiblement inductive, on peut employer une résistance formée par une pellicule métallique mince, tel qu'un alliage nickel-chrome, déposée sur un isolant; on peut aussi utiliser la résistance qu'offre la masse d'un semiconducteur, comme le germanium ou le silicium.

Quand on a besoin d'une résistance dépendant extrêmement peu de la température, on recommande l'utilisation d'un matériau à faible coefficient de température, tel que l'alliage de manganine.

1.2 Méthode pour faire apparaître la caractéristique complète tension-courant

La caractéristique complète tension-courant peut être représentée par un enregistreur X-Y, en utilisant le circuit de la figure 2.



D = diode à mesurer

FIG. 2. — Circuit de mesure.

La résistance R_1 ne devra pas être inductive mais devra être montée aussi près que possible du support de la diode à mesurer; sa valeur devra être égale à la valeur calculée de R_p . Les inductances parasites des autres éléments du réseau résistif ne sont pas spécialement critiques, mais devront être faibles.

L'enregistreur X-Y devra avoir des entrées à haute impédance; on s'arrangera pour représenter la tension aux bornes de la diode sur un axe et la chute de tension aux bornes de la résistance R_0 sur l'autre axe.

L'ensemble des résistances devra être réalisé pour obtenir la condition:

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$$

Dans ce cas, le courant I traversant la diode tunnel devient:

$$I = kI' \quad (2)$$

où:

$$k = \frac{R_4 + R_2 + R_0(1 + R_2/R_1)}{R_2} \quad (3)$$

To satisfy this condition, the stray inductance L_p accompanying R_p shall be quite small. Under this condition, the measurement circuit including the tunnel diode is stable.

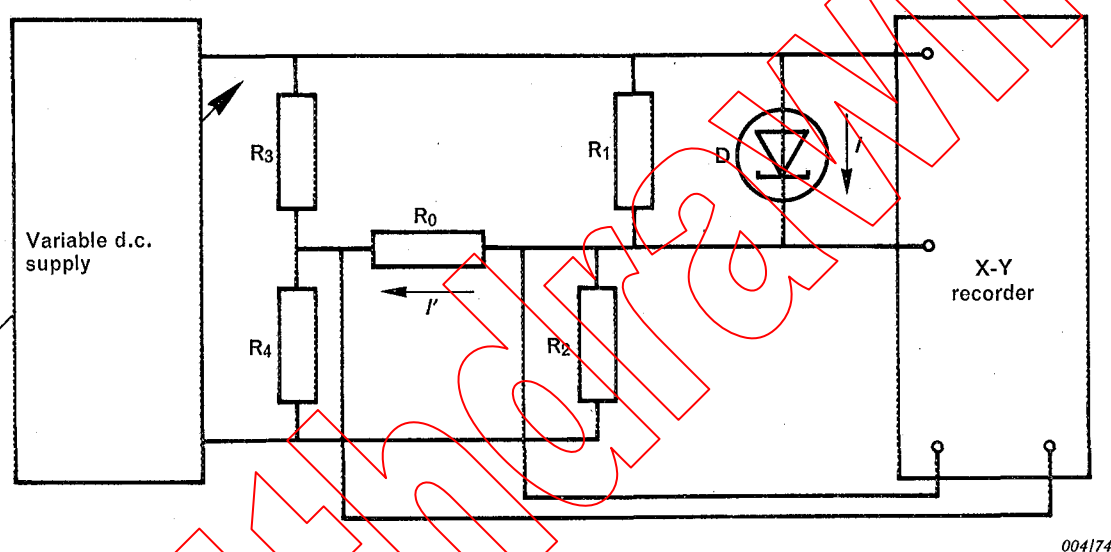
For certain diodes, the conditions of equation (1) cannot be met and this method of test is inappropriate. In this case, the measurements of the points of the curve should be made as given in the following Sub-clause 1.3.

As a low inductive resistance, a thin metallic film resistor such as nickel-chrome alloy deposited on an insulator may be used; the bulk resistance of a semiconductor material, such as germanium or silicon, may also be used.

When an extremely low temperature-dependent resistor is needed, the use of a low temperature coefficient material, such as manganin alloy, is recommended.

1.2 Method of displaying the complete voltage-current characteristic

The complete voltage-current characteristic can be displayed on an X-Y recorder using the circuit of Figure 2.



004/74

D = diode being measured

FIG. 2. — Measurement circuit.

Resistor R_1 should be non-inductive and should be mounted as close to the socket of the device under test as possible; its value should be equal to the calculated value R_p . Stray inductances in the remainder of the resistive network are not especially critical, but they should be low.

The X-Y recorder should have high impedance inputs and should be arranged to display the terminal voltage of the diode on one axis and the voltage drop across resistor R_0 on the other axis.

The resistive network should be adjusted to obtain the condition :

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$$

In this case, current I through the tunnel diode becomes:

$$I = kI' \quad (2)$$

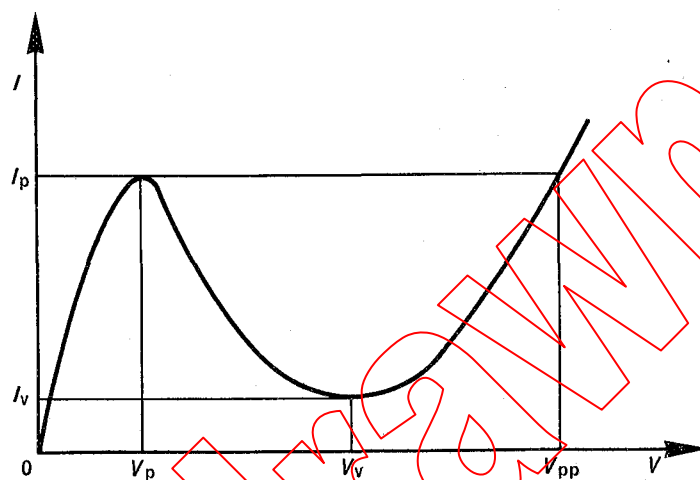
where:

$$k = \frac{R_4 + R_2 + R_0 (1 + R_2/R_1)}{R_2} \quad (3)$$

La valeur de R_2 est choisie normalement supérieure à R_1 , de façon à réduire la dissipation de puissance totale. R_0 devra être petite, mais assez grande pour provoquer une déviation suffisante sur l'enregistreur. On détermine la valeur de R_4 à partir de l'équation (3), de façon à donner à k une valeur convenable.

On augmente la tension d'alimentation de façon à tracer la courbe sur l'enregistreur, comme le montre la figure 3.

La lecture des coordonnées de la courbe permet de déterminer les valeurs suivantes: courant de pic, tension de pic, tension isohypse, courant de vallée, tension de vallée, tension inverse.

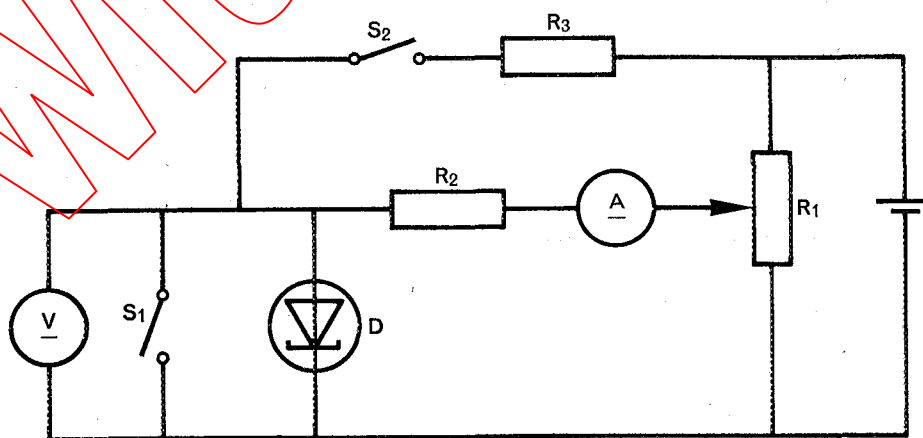


005/74

FIG. 3. — Courbe caractéristique typique d'une diode tunnel.

1.3 Mesure des valeurs caractéristiques statiques

Les valeurs caractéristiques statiques peuvent être mesurées dans le circuit représenté par la figure 4. La valeur de R_2 devra être grande par rapport à $\left| \frac{1}{g'} \right|$; R_3 est une résistance limitant le courant. Les interrupteurs S_1 et S_2 sont ouverts, sauf indication contraire. Le circuit de mesure peut être très sensible au bruit induit et, pour cette raison, ce circuit devra être convenablement blindé.



006/74

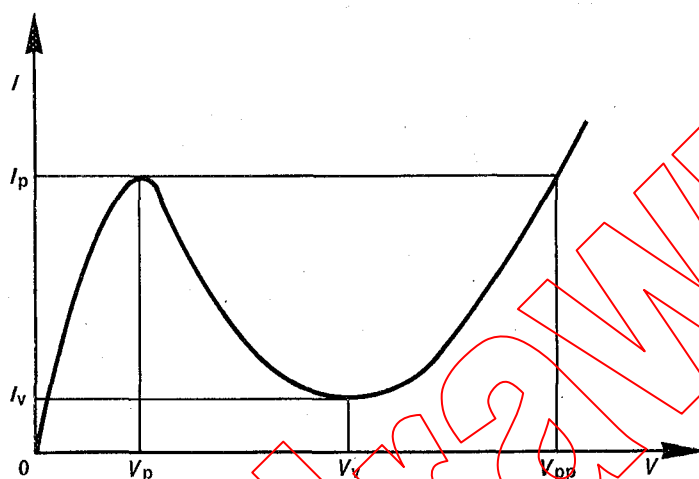
D = diode à mesurer
V = voltmètre à haute impédance

FIG. 4. — Circuit fondamental pour la mesure des caractéristiques statiques.

The value of R_2 is normally chosen larger than R_1 to reduce over-all power dissipation. R_0 should be small, but large enough to give a suitable deflection on the recorder. The value of R_4 is chosen from equation (3), in order to provide a suitable value of k .

The supply voltage is increased so that the curve is displayed on the recorder, as shown in Figure 3.

Reading the co-ordinates of the curve permits the determination of the following values: peak point current, peak point voltage, projected peak point voltage, valley point current, valley point voltage, reverse voltage.

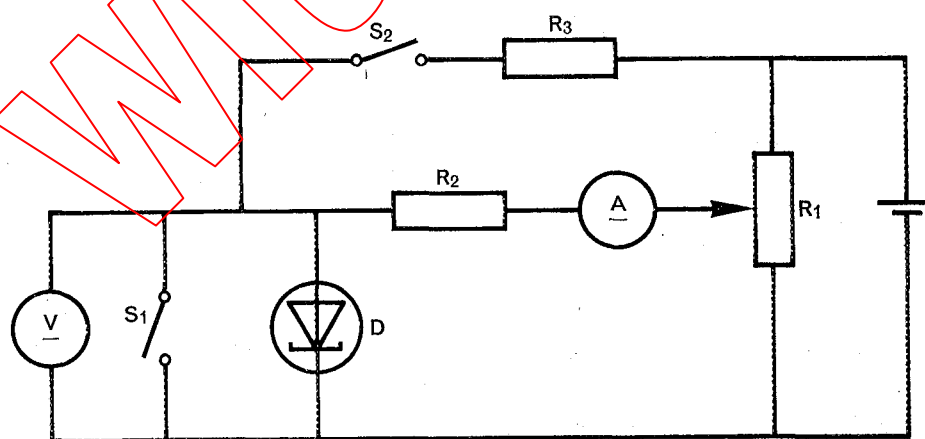


005/74

FIG. 3. — Typical characteristic curve of a tunnel diode.

1.3 Measurement of static characteristic values

The static characteristic values can be measured in the circuit given in Figure 4. The value of R_2 should be large compared to $\left| \frac{1}{g} \right|$; R_3 is a current-limiting resistor. Switches S_1 and S_2 are open, unless otherwise specified. The measurement circuit may be very sensitive to the induced noise and, therefore, should be adequately screened.



006/74

D = diode being measured
V = high-impedance voltmeter

FIG. 4. — Basic circuit for the measurement of static characteristic values.

1.3.1 Courant de pic I_p

On augmente le courant dans la diode depuis zéro en réglant la résistance R_1 jusqu'à ce que la diode commute de son état basse tension à son état haute tension. Le courant de pic est la valeur indiquée immédiatement avant ce changement d'état. En fermant l'interrupteur S_1 , on peut ramener la diode à son état basse tension; on peut répéter le mode opératoire pour obtenir un résultat précis.

1.3.2 Tension de pic V_p

On peut la mesurer par la méthode décrite au paragraphe 1.3.1, la tension correspondant au courant de pic étant mesurée sur le voltmètre V.

1.3.3 Tension isohypse V_{pp}

On augmente le courant dans la diode au-delà du courant de vallée en réglant la valeur de la résistance R_1 jusqu'à ce qu'on atteigne le courant de pic. La tension au point isohypse est lue sur le voltmètre V.

1.3.4 Courant de vallée I_v

En fermant temporairement l'interrupteur S_2 , on augmente le courant traversant la diode tunnel jusqu'à ce que la diode commute à son état haute tension. On réduit alors progressivement le courant par réglage de la résistance R_1 jusqu'à ce que le courant de la diode ait atteint sa valeur minimale. Cette valeur est le courant de vallée.

1.3.5 Tension de vallée V_v

On peut la mesurer avec la méthode décrite au paragraphe 1.3.4. La tension correspondant au point de vallée est lue sur le voltmètre V.

1.3.6 Tension inverse

On peut mesurer la tension inverse dans le circuit de la figure 4, page 12, si la diode tunnel est connectée en sens inverse.

La tension inverse est mesurée par le voltmètre V quand le courant inverse dans la diode est réglé à la valeur spécifiée.

2. Capacité terminale au point de vallée

2.1 Introduction

La capacité aux bornes d'une diode tunnel est mesurée normalement au point de vallée, ce qui donne le résultat le plus précis à cause de la faible conductance de la diode en ce point. La capacité mesurée est la capacité aux bornes ou totale, et non la capacité de la jonction. La méthode décrite utilise un pont d'admittance ordinaire.

2.2 Discussion

On donne, dans la figure 5, page 16, un circuit équivalent de la diode tunnel, comprenant la capacité du boîtier C_s .

La capacité C aux bornes est donnée par:

$$C = C_s + C' \frac{1 - \frac{g'^2 L_s}{C'} - \omega^2 L_s C'}{(1 - \omega^2 L_s C' - g' r_s)^2 + (\omega L_s g')^2 \left(1 - \frac{r_s C'}{L_s g'}\right)^2} \quad (4)$$

1.3.1 Peak point current I_p

The current through the diode is increased from zero by adjustment of resistor R_1 until the diode switches from its low-voltage state to its high-voltage state. The peak point current is the value indicated immediately prior to this change of state. By closing switch S_1 , the diode may be reset to its low-voltage state, and the procedure may be repeated to obtain an accurate result.

1.3.2 Peak point voltage V_p

This can be measured by the method described in Sub-clause 1.3.1, the voltage corresponding to the peak current being measured on voltmeter V .

1.3.3 Projected peak point voltage V_{pp}

The current through the diode is increased beyond the valley point current by adjustment of resistor R_1 until the peak point current is reached. The voltage at the projected peak point is read on voltmeter V .

1.3.4 Valley point current I_v

By temporarily closing switch S_2 , the current in the tunnel diode is increased until the diode switches to its high-voltage state. The current is then reduced gradually by adjustment of R_1 until the diode current reaches its minimum value. This value is the valley point current.

1.3.5 Valley point voltage V_v

This can be measured by the method described in Sub-clause 1.3.4. The voltage corresponding to the valley point is read on voltmeter V .

1.3.6 Reverse voltage

Reverse voltage can be measured in the circuit of Figure 4, page 13, if the tunnel diode is reversed.

The reverse voltage is measured on voltmeter V when the reverse current through the diode is set to the specified value.

2. Valley point terminal capacitance

2.1 Introduction

The terminal capacitance of a tunnel diode is normally measured at the valley point, since this gives the most accurate result because of the low conductance of the diode at this point. The capacitance which is measured is the total, or terminal, capacitance and not the junction capacitance. The method described utilizes an ordinary admittance bridge.

2.2 Discussion

An equivalent circuit of a tunnel diode, including case capacitance C_s , is shown in Figure 5, page 17.

The terminal capacitance C is given by:

$$C = C_s + C' \frac{1 - \frac{g'^2 L_s}{C'} - \omega^2 L_s C'}{(1 - \omega^2 L_s C' - g' r_s)^2 + (\omega L_s g')^2 \left(1 - \frac{r_s C'}{L_s g'}\right)^2} \quad (4)$$

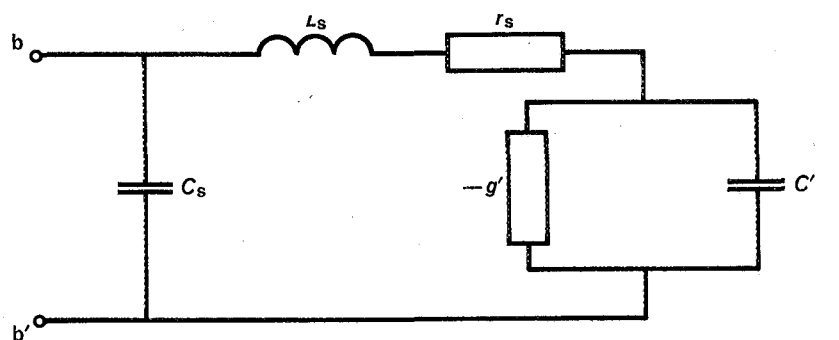


FIG. 5. — Circuit équivalent d'une diode tunnel.

Quand la polarisation est réglée de telle façon qu'on ait:

$$g' = 0 \quad (5)$$

et que la fréquence est choisie pour satisfaire les conditions suivantes:

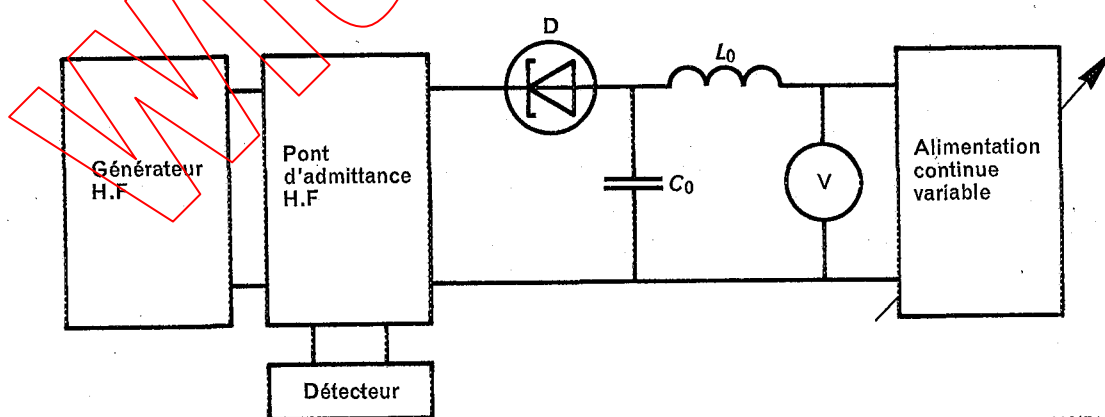
$$\begin{cases} \omega^2 L_s C' \ll 1 \\ \omega^2 r_s^2 C'^2 \ll 1 \end{cases} \quad (6)$$

alors:

$$C = C_s + C' \quad (7)$$

2.3 Exécution

Le principe de mesure est indiqué sur la figure 6.



D = diode à mesurer

FIG. 6. — Principe de mesure de la capacité aux bornes.

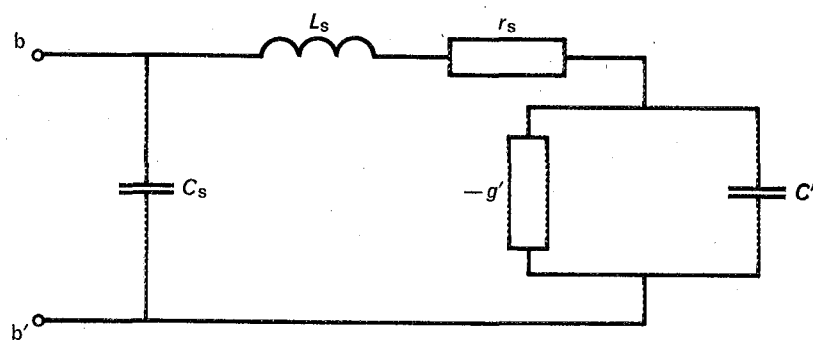


FIG. 5. — Equivalent circuit of a tunnel diode.

When the bias is adjusted such that:

$$g' = 0 \quad (5)$$

and the frequency is chosen to satisfy the following conditions:

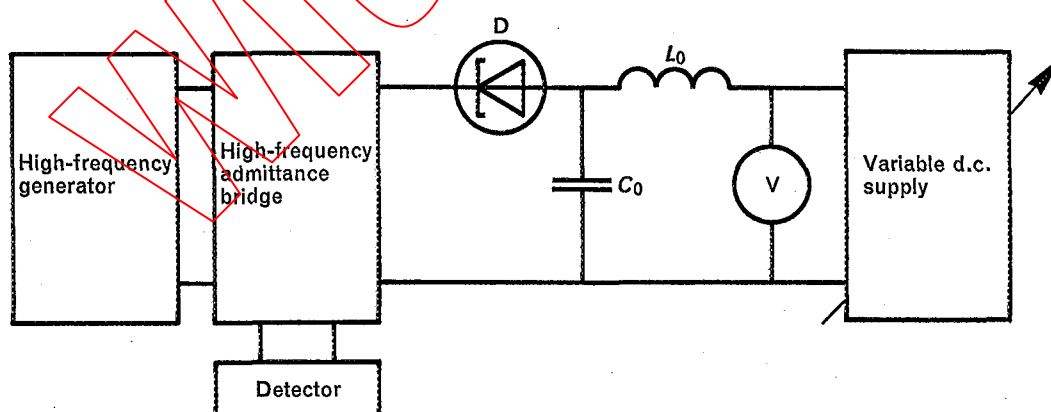
$$\begin{cases} \omega^2 L_s C' \ll 1 \\ \omega^2 r_s^2 C'^2 \ll 1 \end{cases} \quad (6)$$

then:

$$C = C_s + C' \quad (7)$$

2.3 Measurement procedure

The measurement arrangement is shown in Figure 6.



D = diode being measured

FIG. 6. — Measurement arrangement for terminal capacitance.

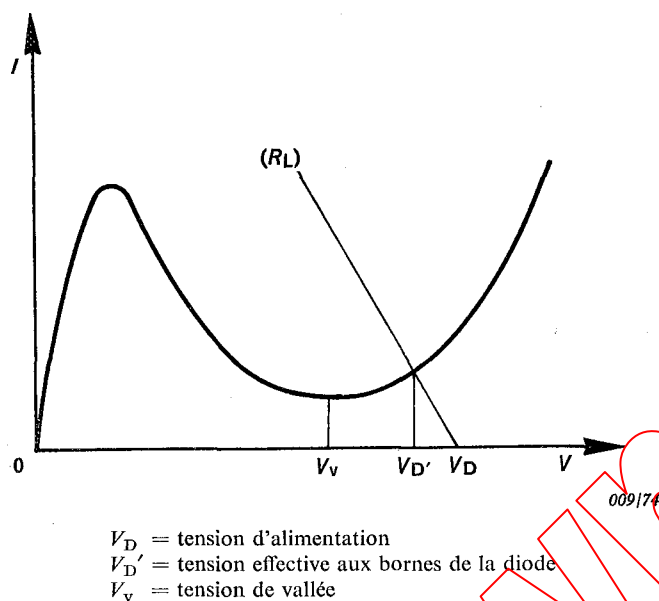


FIG. 7. — Caractéristique d'une diode tunnel comprenant la diode de charge.

Dans ce circuit, l'inductance L_0 et la capacité C_0 forment un filtre passe-bas. On applique la tension de polarisation à la diode par l'intermédiaire de L_0 . La résistance R_L , offerte à la diode par le pont devra être choisie de façon que $R_L < \left| \frac{1}{g'_{\max}} \right|$. La droite de charge coupe alors la caractéristique courant-tension en un point unique comme l'indique la figure 7.

On applique une tension $V_D > V_v$ et on la diminue jusqu'à ce que la conductance g' s'annule. On mesure la capacité de la diode pour cette polarisation. Pour la gamme des fréquences de mesure, on choisit 0,5 MHz à 10 MHz afin de satisfaire la condition (6).

3. Capacité de boîtier

La capacité parasite ou de boîtier due à l'encapsulation ne peut être déterminée qu'en mesurant la capacité aux bornes d'une diode dont la jonction a été détruite.

4. Inductance série

4.1 Introduction

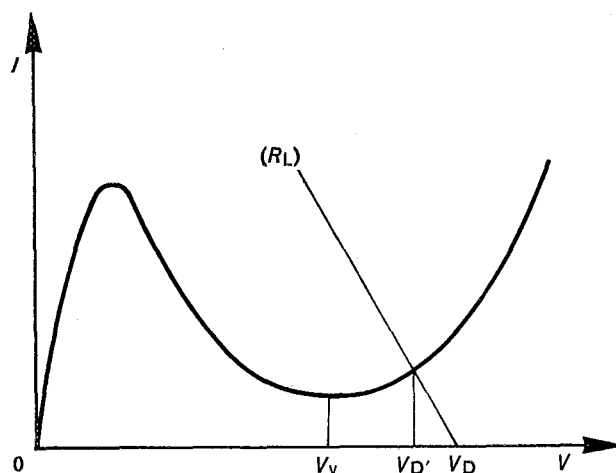
La valeur de l'inductance série L_s doit être extrêmement faible; donc, pour obtenir une valeur distincte de celle des autres éléments parasites, il est nécessaire d'utiliser une fréquence dans la gamme des hyperfréquences.

La méthode décrite ci-dessous utilise le principe d'un circuit résonant qui comprend la diode tunnel polarisée à sa tension de vallée.

La valeur de l'inductance série d'une diode tunnel dépend beaucoup de la forme de l'encapsulation, de la construction interne et surtout du circuit de mesure. On donne ci-dessous une méthode de mesure pour un type particulier de diode tunnel. D'autres méthodes peuvent être nécessaires pour des types différents.

4.2 Principe de la méthode

On indique sur la figure 5, page 16, le circuit équivalent d'une diode tunnel en petits signaux et en haute fréquence.



V_D = supply voltage
 $V_{D'}$ = effective voltage across the diode
 V_v = valley point voltage

FIG. 7. — Tunnel diode characteristic including load line.

In this circuit, inductance L_0 and capacitance C_0 form a low-pass filter. Bias voltage is applied to the diode through L_0 . The resistance R_L presented to the diode by the bridge should be chosen so that $R_L < \left| \frac{1}{g'_{\max}} \right|$. The load line will then intersect the current-voltage characteristic at a single point as shown in Figure 7.

The voltage $V_{D'} > V_v$ is applied and decreased until the measured conductance g' becomes zero. The terminal capacitance of the diode is measured at this bias. As a range of measuring frequencies, 0.5 MHz to 10 MHz is chosen in order to satisfy condition (6).

3. Case capacitance

The parasitic or case capacitance due to the encapsulation can only be determined by measuring the capacitance at the terminals of a diode which has a burnt out junction.

4. Series inductance

4.1 Introduction

The value of series inductance L_s will be extremely small; hence, in order to obtain a value separate from other parasitic elements, it is necessary to use a microwave frequency.

The method described below utilizes the principle of a resonant circuit which incorporates the tunnel diode biased to its valley voltage.

The value of the series inductance of a tunnel diode is critically dependent on the shape of the encapsulation, on the internal construction and especially on the measurement circuit. A method of measurement for a particular type of tunnel diode is given below. Alternative methods may be necessary for other types.

4.2 Principle of the method

A small-signal high-frequency equivalent circuit of a tunnel diode is shown in Figure 5, page 17.

Quand la tension de vallée est appliquée à la diode, la conductance de la jonction g' s'annule et le circuit équivalent de la diode est alors comme celui indiqué sur la figure 8. Son admittance terminale est alors:

$$Y = j\omega C_s + \frac{r_s + j \frac{1}{\omega C'} \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)}{r_s^2 + \frac{1}{\omega^2 C'^2} \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2} \quad (8)$$

où ω_0 est la fréquence de résonance propre à la tension de vallée

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_s C'}} \quad (9)$$

Dans l'équation (8), r_s est en général très petite et peut être négligée, sauf au voisinage de ω_0 . L'équation (8) devient alors:

$$Y = j \left(\omega C_s + \frac{\omega C'}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}} \right) \quad (10)$$

Si on mesure l'admittance Y de la diode, on peut l'exprimer sous forme d'une capacité apparente C_a en écrivant:

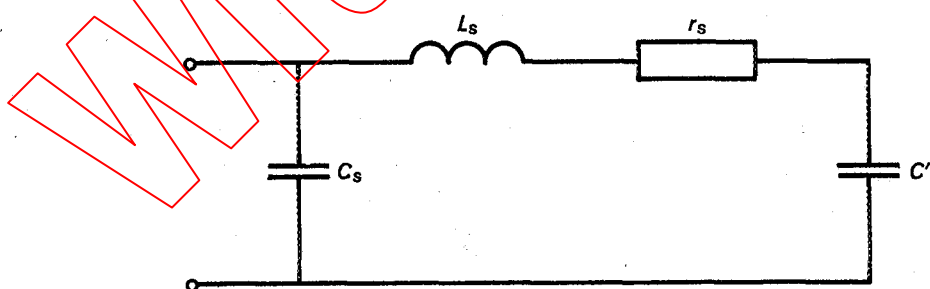
$$Y = j\omega C_a \quad (11)$$

On tire alors de l'équation (10):

$$\frac{1}{C_a - C_s} = \frac{1}{C'} \left(1 - \frac{f^2}{f_0^2}\right) \quad (12)$$

Si l'on calcule C_a à différentes fréquences, C' et f_0 peuvent être déterminés par le procédé mentionné dans le paragraphe suivant. Ainsi, on obtient, en partant de l'équation (9), l'inductance série L_s par la relation:

$$L_s = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C'}$$



010174

FIG. 8. — Circuit équivalent d'une diode tunnel au point de vallée.

4.3 Exécution

On mesure l'admittance d'une diode tunnel à différentes fréquences au moyen du montage indiqué sur la figure 9, page 22.

When the valley voltage is applied to the diode, its junction conductance g' becomes zero and the equivalent circuit of the diode is then as shown in Figure 8. Its terminal admittance is then:

$$Y = j\omega C_s + \frac{r_s + j \frac{1}{\omega C'} \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)}{r_s^2 + \frac{1}{\omega^2 C'^2} \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2} \quad (8)$$

where ω_0 is the self-resonant frequency at the valley voltage

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_s C'}} \quad (9)$$

In equation (8), r_s is usually very small and can be neglected, except in the neighbourhood of ω_0 . Then, equation (8) becomes:

$$Y = j \left(\omega C_s + \frac{\omega C'}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}} \right) \quad (10)$$

If the admittance Y of the diode is measured, it may be expressed in terms of an apparent capacitance C_a by writing:

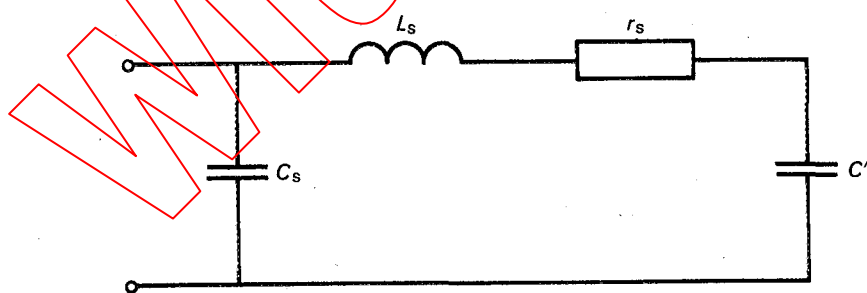
$$Y = j\omega C_a \quad (11)$$

Then from equation (10):

$$\frac{1}{C_a - C_s} = \frac{1}{C'} \left(1 - \frac{f^2}{f_0^2}\right) \quad (12)$$

If C_a is calculated at various frequencies, C' and f_0 can be determined by the procedure mentioned in the next sub-clause. Then, from equation (9), the series inductance L_s is obtained from the relation:

$$L_s = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 C'}$$

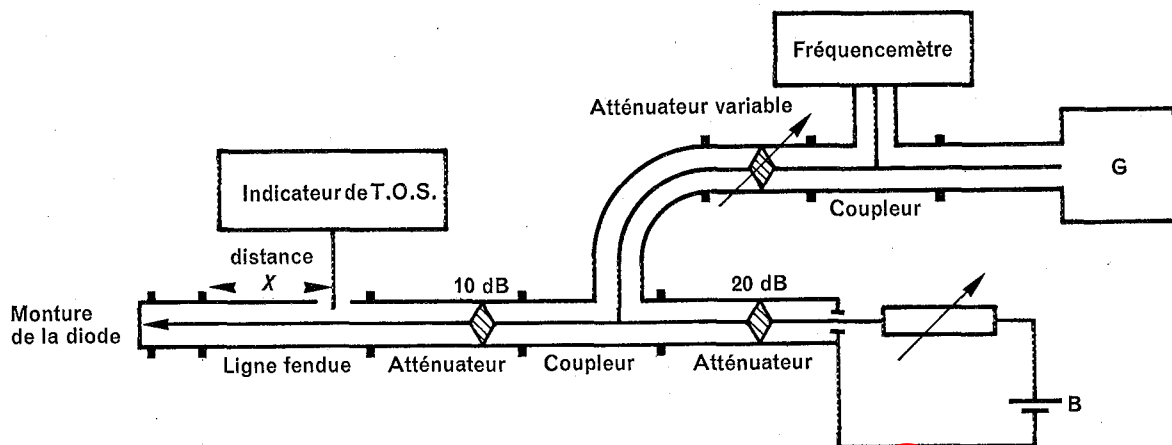


010/74

FIG. 8. — Equivalent circuit of a tunnel diode at the valley point.

4.3 Measurement procedure

The tunnel diode admittance is measured at various frequencies by the assembly shown in Figure 9, page 23.



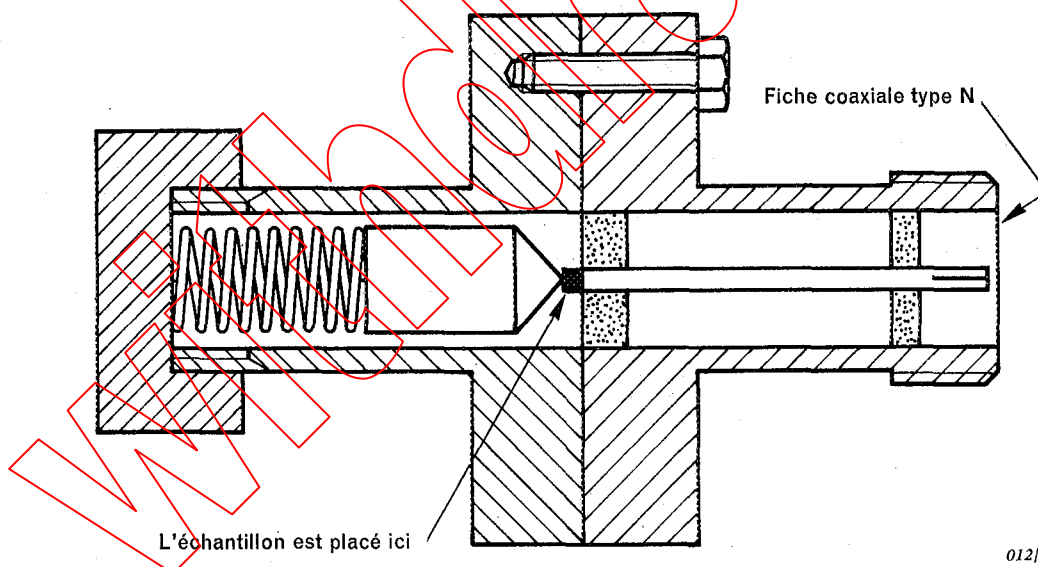
011/74

B = polarisation
G = générateur hyperfréquences

FIG. 9. — Montage pour la mesure de l'inductance série.

Cet ensemble consiste en circuits coaxiaux conventionnels de 50 ohms.

On insère la diode tunnel dans la tête de mesure représentée sur la figure 10.



012/74

FIG. 10. — Schéma de la tête de mesure.

On suppose que la diode est fermée sur une résistance pure de 50 ohms pendant la mesure. L'ordre des opérations est le suivant:

Tout d'abord, on devra préparer un bloc de cuivre ayant des dimensions identiques à celles de la diode tunnel. On considère ce bloc comme référence pour l'impédance zéro. On insère ce bloc dans la tête de mesure et on mesure la position pour la tension d'ondes stationnaires nulle. Cela donne un point de référence X_s d'admittance infinie.